



Comportamento fisiológico e produtivo do Milho (*Zea mays* L.) em sistema agroflorestal

Marlete Moreira de Sousa Mendes¹

Ana Clara Rodrigues Cavalcante²

Francisco Éden Paiva Fernandes³

Claudian Feitosa de Lacerda⁴

Teógenes Senna de Oliveira⁵

Introdução

O uso da terra caracterizado pelo crescimento de diferentes espécies de plantas arbóreas e herbáceas em associação com culturas agrícolas (silviagrícolas), com animais (silvipastoris) ou com ambos (agrossilvipastoris) constituem os sistemas agroflorestais ou agroflorestas (SAFs). Esses sistemas apresentam potencial para o uso mais sustentável da terra, pois diversificam a exploração agrícola e a produção florestal e ao mesmo tempo conservam os recursos naturais. Além disso, constituem sistemas de manejo intensivo do agroecossistema que otimizam os benefícios das interações biológicas criadas quando as árvores e/ou arbustos são deliberadamente combinados com as culturas e/ou pecuária (MOLUA, 2005).

A associação entre árvores e cultivos em SAFs possibilita a manutenção dos processos fisiológicos nas plantas cultivadas em períodos de escassez hídrica, sobretudo se houver diferenciação de

nichos entre ambos. Um aspecto que deve ser observado quanto à escolha das espécies arbóreas que compõem o sistema agroflorestal é a eficiência no uso da água. Árvores com menor uso de água são menos competitivas com o cultivo (RADERSMA; ONG, 2004). Outro aspecto é a profundidade de alcance do sistema subterrâneo, pois sistema radicular profundo possibilita o uso compartilhado dos recursos oriundos do solo (água e nutrientes) em razão de uma exploração diferenciada (JACKSON et al., 1995). De forma contrária, poderá haver competição radicular no solo sob as árvores, além de sombreamento (SCHROTH et al., 2002). Assim, entende-se que as agroflorestas podem influenciar positiva ou negativamente o cultivo, a depender de características morfológicas e/ou fisiológicas das espécies associadas.

O efeito dos SAFs sobre o desenvolvimento das plantas cultivadas é reportado na literatura (LOTT et al., 2003; LOSE et al., 2003; MUTHURI et al., 2009). Existem evidências de que os SAFs podem exercer

¹Bióloga, D. Sc, Professora Substituta da Universidade Estadual do Ceará.

²Zootecnista, D. Sc., Pesquisadora da Embrapa Caprinos e Ovinos, Fazenda Três Lagoas, Estrada Sobral - Groairas, Km 04, Caixa Postal 145, CEP: 62010-970, Sobral/CE. E-mail: ana.clara@embrapa.br.

³Zootecnista, D. Sc., Analista da Embrapa Caprinos e Ovinos. E-mail: eden.fernandes@embrapa.br.

⁴Eng. Agrôn., D. Sc, Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola/CCA/UFC.

⁵Eng. Agrôn., D. Sc, Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola/CCA/UFC.

efeitos benéficos sobre as culturas em comparação com monoculturas (LEHMANN et al., 1998; MAKUMBA et al., 2006). Assim, os SAFs poderiam ser mais adequados ao cultivo do que sistema tradicional.

O acesso aos recursos hídricos e a zona de absorção de água pelas raízes das plantas cultivadas e nativas podem ser avaliados por técnicas isotópicas (BURGESS et al., 2000), uma vez que a composição da fonte não se altera ao ser extraída pela planta, de forma que, se a planta obtiver toda sua água de uma única fonte, sua composição isotópica será idêntica à mesma (WALKER et al., 2001). Segundo Jackson et al. (1995), tais técnicas são um meio alternativo de avaliação de absorção de água pelas plantas e pode desvendar mecanismos que permitam a coexistência de espécies.

Sob circunstâncias agroflorestais, são necessárias informações detalhadas sobre aspectos ecofisiológicos das plantas nativas e cultivadas no semiárido brasileiro que indiquem a viabilidade dos SAFs como técnica agroecológica adequada à manutenção da produtividade do cultivo e das características ambientais. Nesse contexto, qual seria a influência dos SAFs sobre o teor de nutrientes das plantas cultivadas? As plantas cultivadas competem com as árvores nativas por água e/ou luz? A produtividade das plantas cultivadas é afetada pela associação com árvores em SAF? Os objetivos deste trabalho foram, assim, avaliar a produtividade e o teor de macro e micronutrientes do milho, determinar a zona de absorção de água e verificar a existência de competição entre milho e uma espécie arbórea dominante em um sistema agrosilvipastoril experimental no semiárido cearense.

Material e Métodos

Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (Embrapa Caprinos e Ovinos) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), situada no município de Sobral-CE, a 3°41'S e 40°20'W. O clima da região é do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen, com estação chuvosa de janeiro a maio. Temperatura e precipitação médias anuais são de 30 °C e 821,6

mm, respectivamente. Os solos da área em estudo apresentam manchas de Luvissolo Crômico Órtico típico e Luvissolo Hipocrômico Órtico típico (AGUIAR et al., 2006).

Dois modelos de produção experimentais foram escolhidos: sistema agrosilvipastoril (AGP) e sistema tradicional (TR). O AGP foi estabelecido em 1,7 ha, onde é adotado anualmente o cultivo em aleias com largura de três metros. Esse sistema consiste de, aproximadamente, 200 árvores nativas por hectare, correspondendo a 22% de cobertura do solo. OTR consiste de área com 1,3 ha de monocultivo de milho, preparada tradicionalmente, ou seja, com retirada da vegetação e queima dos resíduos. Não houve adição de fertilizantes ou uso de irrigação em nenhum dos sistemas. Após a colheita da cultura agrícola, os animais têm acesso à área para se alimentar.

Espécies avaliadas

O milho (*Zea mays* L. var. catingueiro) foi a espécie agrícola avaliada em ambos os modelos. O milho foi cultivado em covas, com espaçamento de um metro. A semeadura ocorreu nos dias 15 e 16 de fevereiro de 2011, no AGP e no TR e a colheita noventa dias depois. O ensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Cada repetição consistia de uma área de 16m², contendo um exemplar do pau-branco ao centro da parcela e dezesseis plantas de milho ao redor do Pau branco, sendo quatro em cada direção cardinal. A precipitação foi de 185,0, 193,3, 155,2 e 165,6 mm, nos meses de fevereiro, março, abril e maio, respectivamente.

O pau-branco [*Cordia oncocalyx* (Allemão), Boraginaceae] é uma espécie caducifólia, endêmica da Caatinga e foi escolhido por ser comum na região onde o estudo foi realizado. As características fitossociológicas de frequência, dominância e densidade relativas dessa espécie no AGP são 36,84%, 79,03% e 58,33%, respectivamente (CAMPANHIA et al., 2011). As árvores de Pau branco estudadas no AGP possuíam diâmetro à altura do peito de aproximadamente 30 cm, diâmetro de copa de em média 2,5 m e altura média de nove metros m.

Análises fisiológicas

Para avaliar o teor de nutrientes, a produção de massa seca, aspectos fisiológicos e as zonas de

captação de água, o milho foi plantado a quatro distâncias do caule do pau-branco, sendo os tratamentos denominados pelas respectivas distâncias: $Mil_1 = 1,0$ m; $Mil_2 = 2,0$ m; $Mil_3 = 3,0$ m e $Mil_4 = 4,0$ m. Nas duas primeiras distâncias o milho ficou completamente sob a copa, a terceira distância era intermediária e na quarta as plantas estavam completamente expostas ao sol (fora da copa), tendo-se considerado a projeção da copa de *C. onocalyx* ao meio-dia.

As coletas e os registros de dados foram realizados aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS), o que coincidiu com os meses de março, abril e maio, e com as fases vegetativa, reprodutiva e senil, respectivamente. Para tanto, foi utilizada mensalmente uma linha de milho, no sentido Leste-Oeste. Cada linha continha uma planta por tratamento em cada parcela, o que totalizou cinco plantas por tratamento. Para coleta no TR, foi selecionada aleatoriamente uma linha por mês, no sentido Leste-Oeste, e a cada cinco plantas uma foi coletada, até o total de cinco espécimes.

Fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*gs*) e transpiração (*E*) foram analisadas aos 30 e 60 DAS com uso de um analisador de gás infravermelho (IRGA) (LI-6400, LI-COR Biosciences, USA), tendo-se utilizado a primeira folha completamente expandida, uma folha por planta, cinco plantas por tratamento, no horário de 12 às 13h. Nessa ocasião, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) também foi registrada. No mês de maio (90 DAS) não foi possível realizar essas medidas, porque as folhas de milho já estavam senescentes.

Produção de massa seca e altura do milho

Antes de coletar a parte aérea, aos 30, 60 e 90 DAS, as alturas das plantas foram medidas, do colo (limite entre caule e raiz) ao ápice da última folha completamente expandida (30 DAS) ou das inflorescências (60 e 90 DAS). Aos 90 DAS, além da parte aérea, as espigas também foram colhidas. Todo esse material foi pesado para obtenção do peso fresco e, posteriormente, seco em estufa com circulação de ar a 65°C até peso constante. O material foi novamente pesado para obtenção da massa seca da parte aérea (colmo, folhas e inflorescências compuseram uma amostra) e da espiga (considerando palha, sabugo e grãos juntos).

Análises de isótopos

Foram coletadas amostras de raízes de pau-branco e milho, do solo e da precipitação para análise da composição isotópica do oxigênio ($\delta^{18}O$). Para coleta da água do xilema do milho, foram retiradas todas as raízes de cinco espécimes em cada distância. No momento das escavações para quantificar o comprimento das raízes de pau-branco, foram retirados três cilindros de 5,0 cm de comprimento por 0,5 cm de diâmetro. O material coletado foi acondicionado em frascos de plástico, hermeticamente tampados, vedados com película plástica, semitransparente, flexível e resistente à água. Os três cilindros de caule e as raízes das cinco plantas de milho de cada tratamento compuseram uma única amostra para análise isotópica.

Foram instalados dois coletores de chuva, um em cada área, e cada amostra, que corresponde a um único evento chuvoso, foi recolhida no dia das coletas de raízes. As amostras foram guardadas em frascos de plástico, com capacidade para 5,0 ml, vedados para evitar evaporação e, consequente, fracionamento isotópico.

As amostras de solo foram coletadas em três profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm), sob a copa das árvores. Em seguida, foram acondicionadas de forma semelhante à das raízes. Todo o material foi depositado em isopor contendo gelo para evitar evaporação durante o transporte para o laboratório onde foi armazenado, sob refrigeração, até o momento de extração da água (método de destilação a vácuo – GILG et al., 2004), realizada no Laboratório de Ecologia Isotópica, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

As raízes de milho foram coletadas dia 25 de abril e 19 de maio, e as do pau-branco apenas dia 19 de maio de 2011. As amostras de água da chuva foram coletadas no mês de abril, mas não em maio por não haver chuva anterior ou no dia das coletas de raízes. O solo foi coletado em ambos os meses.

Aproximadamente 1 µl da água extraída das amostras de raízes e solo e da água da chuva foi utilizado para medir as razões entre as concentrações de espécies isotópicas das moléculas de água com diferentes combinações de isótopos de hidrogênio e oxigênio ($HD^{16}O$, $H_2^{16}O$ e $H_2^{18}O$), em um Analisador

Isotópico de Água Líquida (DLT-100, LGR, Califórnia, EUA). As razões, corrigidas por uma curva de calibração com padrões de trabalho, foram expressas na notação “delta” (δ), em partes por mil (‰), como desvios relativos ao padrão internacional V-SMOW, calculados pela Equação 1.

$$\sigma = \left| \frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \right| \times 1000 \quad \text{Eq. 1}$$

onde R se refere à razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ da amostra e do padrão.

Análises de nutrientes foliares

Para a análise de nutrientes foliares do milho, a fim de se obter material suficiente, foram utilizadas todas as folhas completamente expandidas, das quais a bainha foi retirada. As amostras de folhas de milho foram secas em estufa a 65 °C, até peso constante, moídas, peneiradas (malha de 1,0 mm) e armazenadas para análises de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn). O procedimento utilizado na determinação do nitrogênio foliar foi o Semi-Micro Kjeldahl (BREMNER, 1996). Para os demais nutrientes, procedeu-se à digestão úmida utilizando mistura de ácidos nítrico e perclórico, na proporção de 3:1, segundo método proposto por Embrapa (2009). O P foi determinado por colorimetria, K por fotometria de chama, Ca, Mg e micronutrientes por espectrofotometria de absorção atômica. As análises foram realizadas no Laboratório de Manejo de Solos da UFC. Para comparações dos teores dos nutrientes do milho utilizou-se Embrapa (2009) como referência.

Análises estatísticas

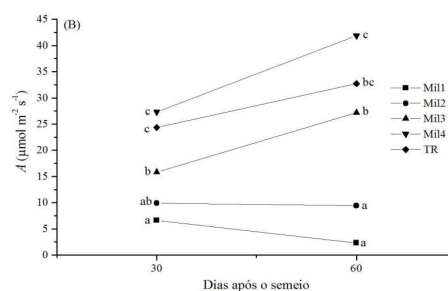
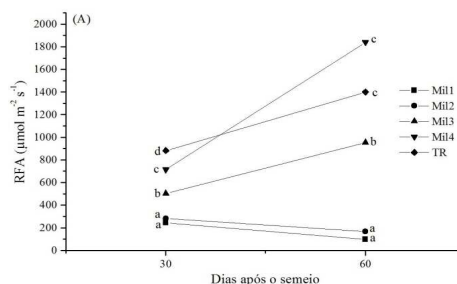
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, admitindo-se até 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Aspectos fisiológicos

A fotossíntese do milho foi de 6,6 e 27,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 30 DAS, sob RFA de 244,3 e 714,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e de 2,29 e 41,83 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 60 DAS, com RFA de 97,1 e 1.839,6, nos tratamentos Mil_1 e Mil_4 , respectivamente. Plantas C_4 possuem altos valores de capacidade fotossintética (55 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou mais) e o milho não apresenta fotossíntese líquida

saturada mesmo sob forte radiação (LARCHER, 2006). Aos 30 e 60 DAS, a condutância estomática (Figura 1C) foi maior no Mil_4 e houve similaridade entre Mil_1 e Mil_2 e entre Mil_3 e TR aos 60 DAS (Figura 1C). A transpiração foi maior no Mil_4 e menor nos tratamentos completamente sob a copa das árvores (Mil_1 e Mil_2) aos 30 e 60 DAS. Condutância estomática e transpiração são parâmetros fisiológicos que respondem às variáveis ambientais, como umidade do ar e do solo, radiação, concentração de CO_2 e temperatura do ar. No período de estudo, as chuvas forneceram quantidade adequada de água às plantas de milho. Entretanto, variações na radiação solar promovidas pelas árvores, possibilitaram transpiração e condutância elevadas apenas nas plantas fora da copa.



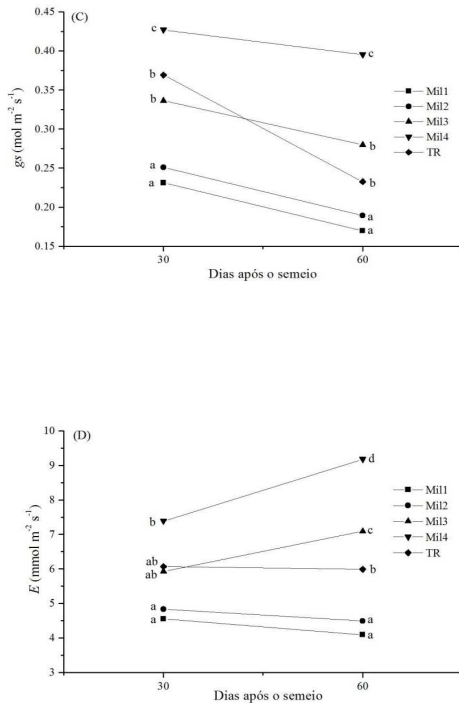


Figura 1. A - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); B - Fotossíntese (A); C - Condutância (g_s) e D - Transpiração (E) aos 30 e 60 dias após o semeio, em plantas de milho cultivadas em sistema agrossilvipastoril a distâncias de um (Mil_1), dois (Mil_2), três (Mil_3) e quatro (Mil_4) metros do caule de *Cordia oncocalyx* Allemão e em sistema de cultivo tradicional (TR). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre tratamentos pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($n = 5$).
Fonte: Mendes et al. (2013).

As plantas de milho sob a copa mantêm seus estômatos fechados, em razão da baixa intensidade luminosa que a elas chega, o que promove redução na transpiração e na fixação de CO_2 . Quando isso acontece, aumenta a razão entre a concentração interna de CO_2 e a do ar, em função da baixa radiação fotossinteticamente ativa, conforme demonstraram Fuentes e King (1989). Quando esse CO_2 das câmaras subestomáticas é incorporado pela PEPcase (enzima catalisadora na etapa bioquímica da fotossíntese de plantas C_4), há necessidade de ajustar a abertura dos estômatos para que ocorram novas captações de carbono da atmosfera, todavia, se a radiação incidente não favorece esse processo, a planta sofre prejuízos. A absorção de luz reduzida prejudica também a etapa fotoquímica da fotossíntese, a cadeia de transporte de elétrons e, por fim, parte da produção de energia necessária à

etapa bioquímica, na qual há conversão de CO_2 em açúcares, o que afeta a fotossíntese como um todo.

Produção de massa seca e altura

As plantas de milho apresentaram maior altura conforme aumentou a distância do pau-branco (Tabela 1). As plantas mais altas foram encontradas no tratamento Mil_4 , onde estavam completamente fora da copa, provavelmente, em razão de o milho ser uma espécie que não suporta sombreamento (REYNOLDS et al., 2007), o que explica o baixo desenvolvimento do milho mais próximo do caule do pau-branco, além das árvores interceptarem parte da radiação disponível para o cultivo (KHO, 2000). Muthuri et al. (2005) encontraram diferenças na altura do milho somente a um metro de distância do caule das árvores de *Grevillea robusta*, onde o milho em SAF apresentava-se menor que no cultivo isolado. Esse fato pode ser dependente do tamanho da copa e do índice de área foliar das arbóreas.

Tabela 1. Altura, massa seca da parte aérea (MSPA) e da espiga (MSEsp) de plantas de milho, aos 30, 60 e 90 dias após o semeio (DAS), em sistema agrossilvipastoril nas distâncias de um (Mil_1), dois (Mil_2), três (Mil_3) e quatro (Mil_4) metros do caule de *Cordia oncocalyx* Allemão e em sistema de cultivo tradicional (TR)

Tratamento	30 dias		60 dias		90 dias		MSEsp (g planta ⁻¹)
	Alt. (cm)	MSPA (g planta ⁻¹)	Alt. (cm)	MSPA (g planta ⁻¹)	Alt. (cm)	MSPA (g planta ⁻¹)	
TR	46,6 ^b	7,38 ^a	151,0 ^b	24,49 ^a	169,0 ^b	40,25 ^a	75,32 ^a
Mil_1	51,0 ^b	3,27 ^c	126,0 ^b	10,05 ^b	156,0 ^b	17,74 ^c	17,92 ^c
Mil_2	51,9 ^b	4,50 ^b	160,4 ^b	22,23 ^a	171,6 ^b	25,38 ^b	26,75 ^b
Mil_3	59,7 ^a	6,00 ^a	163,4 ^b	18,36 ^a	177,8 ^b	21,76 ^b	26,02 ^b
Mil_4	65,8 ^a	7,25 ^a	190,0 ^a	29,61 ^a	194,0 ^a	34,73 ^a	73,16 ^a

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($n = 5$).

Fonte: Mendes et al. (2013).

Houve diferença na massa seca da parte aérea entre os tratamentos aos 30, 60 e 90 DAS. A menor massa seca foi produzida pelas plantas que estavam mais próximas ao caule do pau branco (Mil_1). As maiores produções de espiga foram registradas no tratamento testemunha e no AGP Mil_4 . Em ambas as situações, as plantas de milho não sofriam sombreamento (Tabela 1). Segundo Black e Ong (2000), a produção de matéria seca é maior em ambientes com boa disponibilidade de luz. Quando observaram o efeito do sombreamento de árvores em sistema agroflorestal sobre o rendimento do milho, Ding e Su (2010) concluíram

que as razões para a queda no rendimento das plantas sombreadas, em comparação com as completamente expostas ao sol, estavam relacionadas a alterações na radiação fotossinteticamente ativa incidente, temperatura do ar e concentração de CO_2 . No presente trabalho, entre os parâmetros físicos observados, a radiação, e não a temperatura do ar, influenciou a produção de massa seca do milho. Assim, é recomendável que seja evitado o plantio dessa variedade de milho sob a copa de árvores que atenuam acentuadamente a incidência de radiação solar, como o pau-branco. É importante lembrar que as variedades de milho disponíveis no mercado foram desenvolvidas para altas produções em sistemas de monocultivo. É possível que dentro do germoplasma de milho possa haver materiais genéticos mais tolerante ao sombreamento e que se possa no futuro recomendar seu uso em AGP, visto que há uma tendência mundial de cultivos em sistemas agroflorestais, especialmente em zonas como semiárido e Amazônia.

Competição e zonas de captação de água

A composição isotópica da água da seiva de raízes do pau-branco assemelhou-se à do solo profundo (40-60 cm), evidenciando que as plantas captam água preferencialmente nessa profundidade no AGP (Figura 2). O teor de ^{18}O da seiva das raízes de milho evidenciou absorção preferencial de água do solo em camadas mais profundas, a partir de 20 cm. No mês de abril, a camada de solo de 0-20 cm apresentou-se mais enriquecida em isótopos pesados (Figura 3A). As camadas mais profundas apresentaram valores isotópicos semelhantes à da água da chuva, após uma sequência de três dias chuvosos. No mês de maio, as raízes do milho plantado de 1,0 m a 4,0 m do caule do pau-branco apresentaram maior abundância de isótopos pesados, compatível com camadas mais profundas (Figura 3B). Entretanto, o solo na profundidade de 0-20 cm apresentou-se depauperado em ^{18}O .

Asbjornsem et al. (2007) registraram maiores valores de $\delta^{18}\text{O}$ na água do xilema de plantas de milho (-5,49‰), em contraste com os das árvores (-7‰), indicando captação de água de fontes mais rasas e calcularam que 45% da água obtida pelo milho foi oriunda da camada de solo de 0-20 cm. Posteriormente, Mestas-Valero et al. (2012) observaram maior depleção de água na camada de 0-20 cm, atribuindo-a à evaporação e à absorção de água pelo milho. Contudo, há pesquisas cujos resultados sugerem a possibilidade de captação de água em zonas mais profundas, devido a um aprofundamento do sistema radicular do milho. De

acordo com Gao et al. (2010), as raízes do milho podem alcançar profundidade superior a 40 cm em pouco mais de um mês, e os registros de Zhang et al. (2011) revelam que o milho, à medida que cresce e aprofunda suas raízes, utiliza preferencialmente a água em maior profundidade. Dessa forma, não é intangível que o milho, ao desenvolver mais profundamente o sistema radicular, absorva água mais profunda, competindo com plantas arbóreas de pau-branco.

Ambas as espécies avaliadas, pau-branco e milho, absorvem água preferencialmente em profundidade superior a 20 cm, o que levou à redução na umidade do solo a 50 cm de profundidade no sistema agrossilvipastoril. As plantas de milho a 3 e 4 m de distância do caule do pau-branco foram mais afetadas pela competição, que as levou a aumentar a eficiência no uso da água, enquanto aquelas sob a copa parecem ter sido afetadas diretamente pelo sombreamento que promoveu o fechamento estomático e reduziu a transpiração.

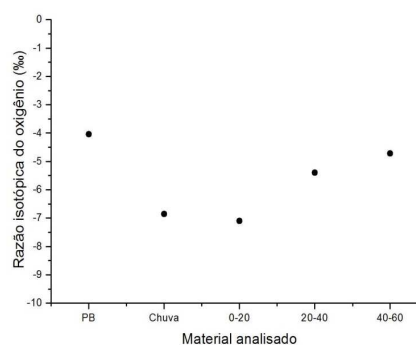
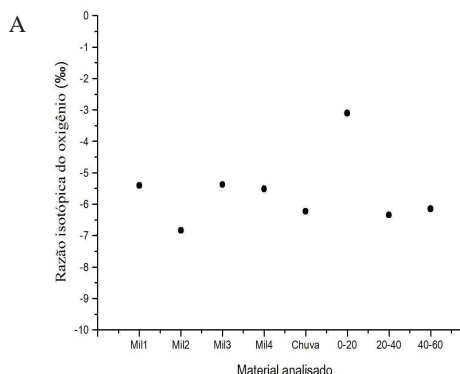


Figura 2. Razão isotópica do oxigênio da seiva do xilema de raízes do pau-branco (PB), da água da chuva e da água do solo em três profundidades em sistema agrossilvipastoril (0-20, 20-40, 40-60 cm).



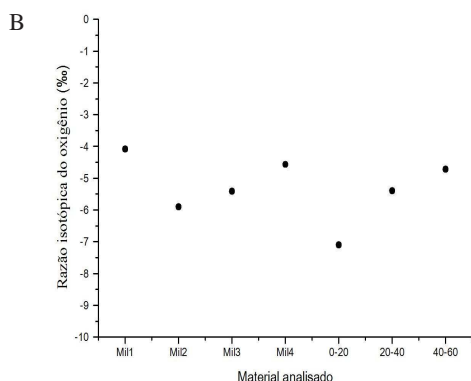


Figura 3. Razão isotópica do oxigênio da água extraída de raízes de milho (Mil₁-Mil₄), do solo, em três profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm), e da chuva em sistema agrossilvipastoril, nos meses de abril (A) e maio (B).

Outros trabalhos já desenvolvidos nesta área (AGUIAR, 2011; BEZERRA et al., 2011), apontam como um dos possíveis serviços ambientais do AGP, o aumento na capacidade de retenção de água em relação ao modelo tradicional. Portanto, apesar da competição, é possível que o sistema possa armazenar água suficiente para as duas culturas.

Nutrientes foliares do milho

A Tabela 2 apresenta os resultados dos teores de macro e micronutrientes foliares do milho cultivado no AGP e no TR. Os teores de N não diferiram ($p>0,05$) em função das distâncias do caule do pau-branco no AGP, porém foram maiores neste sistema do que no TR. A despeito disso, as médias de N para o milho estão todas aquém daquelas consideradas como referência.

Dos nove elementos avaliados, apenas N, P e Ca foram registrados em concentrações muito baixas

nas folhas de milho, tanto no AGP quanto no TR. Os teores de N no limbo foliar do milho foram inferiores à metade daqueles registrados pela Embrapa (2009) como sendo normais para esta espécie, o que pode estar relacionado à variedade que foi utilizada neste experimento. A var. Catingueiro é melhorada geneticamente para desenvolver-se bem em regiões com baixa precipitação pluviométrica, sendo que a maioria dos municípios onde o cultivo da variedade apresentou bom desenvolvimento, teve precipitação entre 400 e 600 mm ano⁻¹ (CARVALHO et al., 2004). Todavia, no município de Sobral, em 2011, os eventos chuvosos ultrapassaram 800 mm de chuva, podendo, com isso, ter afetado o desenvolvimento do milho. Entretanto, apesar dos valores aquém das referências, nota-se o efeito do manejo agroflorestal sobre os teores dos nutrientes nas plantas do AGP em relação às do TR, não havendo efeito da distância do caule do pau-branco sobre o teor de N. A ausência de árvores no TR, aliada à perda de água e sedimentos (AGUIAR et al., 2006), pode indicar uma redução do N total do solo, que se refletiria na quantidade desse macronutriente nas lâminas foliares do milho.

Os teores de P foram maiores ($p<0,05$) a três e a quatro metros de distância das árvores de pau-branco (Mil₃ e Mil₄), sendo compatível com o esperado para a cultura (2-4 g kg⁻¹) (Tabela 2). Os baixos teores de P nas folhas em Mil₁ e Mil₂ estão possivelmente relacionados ao sombreamento pela copa do pau-branco, que promoveu competição por luz e levou à redução no crescimento e desenvolvimento do milho, culminando em baixa produção de biomassa. O P, elemento requerido em menor quantidade entre os macronutrientes, é frequentemente o que mais limita a produção por ser constituinte de compostos fornecedores de energia e

Tabela 2. Teores de macro e micronutrientes em folhas de milho cultivado em sistema agrossilvipastoril, a 1 m (Mil₁), 2 m (Mil₂), 3 m (Mil₃) e 4 m (Mil₄) de distância do caule do pau-branco (*Cordia oncocalyx*), e em sistema de cultivo tradicional (TR).

Trat.	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Mil ₁	10,28 ^a	0,76 ^b	28,48 ^a	1,82 ^a	2,95 ^b	695,99 ^a	10,37 ^a	67,46 ^b	44,49 ^b
Mil ₂	11,59 ^a	1,42 ^b	27,52 ^a	1,09 ^b	3,18 ^b	538,44 ^b	8,56 ^b	73,07 ^{ab}	40,83 ^b
Mil ₃	12,39 ^a	2,83 ^a	29,28 ^a	1,33 ^{ab}	3,41 ^b	600,44 ^a	9,59 ^{ab}	97,04 ^a	36,16 ^c
Mil ₄	11,52 ^a	2,16 ^a	26,72 ^a	1,30 ^{ab}	3,07 ^b	630,22 ^a	9,22 ^{ab}	73,68 ^{ab}	35,60 ^c
TR	6,50 ^b	1,39 ^b	21,28 ^b	1,06 ^b	5,74 ^a	620,40 ^a	6,53 ^c	92,77 ^a	54,72 ^a
Referência	27-35	2-4	17-35	2,5-8	1,5-5	30-250	6-20	15-100	20-200

Referência – teores considerados normais para cada nutriente em plantas de milho, de acordo com Embrapa (2009). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre tratamentos pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($n = 5$).

intermediários nos ciclos de fixação de carbono (TAIZ; ZEIGER, 2002). Assim, em conformidade com a Lei do Mínimo de Liebig, sua escassez limita o crescimento e o rendimento das plantas, sobretudo associado a reduzidos valores de N.

OTR apresentou menor teor médio de K, entretanto, nesse e nos demais tratamentos, o teor médio do nutriente estava de acordo com o de referência. Os teores de Ca das plantas cultivadas no AGP e no TR diferiram entre si, mas foram inferiores àqueles considerados como referência. Mil₁, Mil₂, Mil₃ e Mil₄ apresentaram menores teores de Mg do que o TR, porém, todos estão compreendidos entre os limites mínimo e máximo registrados como referência.

Os teores de Fe mostraram-se menores apenas em Mil₂, entretanto, todos os valores observados são pelo menos duas vezes maiores que aqueles apresentados como referência. No TR foi registrada a menor média para o Cu, enquanto os teores de Zn foram menores em Mil₁ e o de Mn nas plantas do AGP, contudo, para estes três nutrientes, os valores estão de acordo com as referências.

Conclusão

O desenvolvimento do milho, variedade Catingueiro sob a copa, é afetado pelo sombreamento do pau-branco, uma vez que este reduz a radiação incidente, o que indica a competição por luz entre as plantas cultivadas e as árvores nativas.

Recomendação

O manejo agrossilvipastoril pode ser indicado como sistema adequado ao cultivo do milho, desde que seja evitado o sombreamento direto pelas espécies arbóreas ocorrentes no sistema e que haja água disponível no solo para ambas as espécies. Essa recomendação baseia-se no fato de que tal manejo promoveu melhorias no desenvolvimento e teor de N, P e K das plantas de milho que estavam fora da copa e trabalhos anteriores indicam que este sistema é mais eficiente do que o sistema tradicional, especialmente no aumento da capacidade de retenção de água no solo. O sombreamento direto pode ser evitado, realizando-se o raleamento em faixas.

Referências

- ASBJORNSEN, H.; MORA, G.; HELMERS, M. J. Variation in water uptake dynamics among contrasting agricultural and native plant communities in the Midwestern U.S. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 121, n. 4, p.343-356, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880906004087/pdf?md5=c584174626cea69ea3cf4af54f4a51ac&pid=s2.0-S0167880906004087-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014
- AGUIAR, K. R. **Valoração e pagamento dos serviços ambientais: alternative de rentabilidade extra para um sistema agrossilvipastoril do bioma caatinga**. 2011. 115 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <http://www.teses.ufc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=5216>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- AGUIAR, M. I. de; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S. de; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. de. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p. 270-278, 2006. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27154/1/API-Perdas-de-solo-agua-e-nutrientes-em-sistemas-agroflorestais-no.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- BEZERRA, K. R. A.; CAMPANHA, M. M.; MERA, R. D. M.; BEZERRA, F. G. S.; MAYORGA, M. I. de O.; GUIMARÃES, V. P. Valoração econômica dos serviços ambientais em um sistema agrossilvipastoril no bioma caatinga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 7., 2011, Fortaleza. **Ética na ciência: agroecologia como paradigma para o desenvolvimento rural**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011. Ref. 11795. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53968/1/Valoracao-economica.pdf>>.
- BLACK, C.; ONG, C. Utilisation of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.104, n. 1, p.25-47, 2000. Disponível

em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192300001453/pdf?md5=2a3a7dca210ca665d45b02729308b358&pid=1-s2.0-S0168192300001453-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014

BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L. (ed.). **Methods of soil analysis**; Part 3. Chemical methods. Madison: American Society of Agronomy, 1996. p. 1085-1121. (Soil science society of America book series; v. 5).

BURGESS, S. S. O.; ADAMS, M. A.; TURNER, N. C.; WARD, B. Characterization of hydrogen isotope profiles in an agroforestry system: implications for tracing water sources of trees. **Agricultural Water Management**, v. 45, n. 3, p.229-241, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377400001050/pdf?md5=cf50118ed98127e61682e6cd39b92028&pid=1-s2.0-S0378377400001050-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014

CAMPANHA, M. M.; ARAÚJO, F. S. de; MENEZES, M. O. T. de; SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, H. R. de. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral, CE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 94-101, jul./set. 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39190/1/Estrutura-comunidade.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

CARVALHO, H. W. L. de; SANTOS, M. X. dos; SILVA, A. A. G. da; CARDOSO, M. J.; SANTOS, D. M. dos; TABOSA, J. N.; MICHEREFF FILHO, M.; LIRA, M. A.; BOMFIM, M. H. C.; SOUZA, E. M. de; SAMPAIO, G. V.; BRITO, A. R. de M. B.; DOURADO, V. V.; TAVARES, J. A.; NASCIMENTO NETO, J. G. do; NASCIMENTO, M. M. A. do; TAVARES FILHO, J. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; CARVALHO, B. C. L. de. **Caatingueiro**: uma variedade de milho para o Semi-Árido nordestino. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. 8 p. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2004/cot-29.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2014.

DING, S.; SU, P. Effects of tree shading on maize crop within a Poplar-maize compound system in Hexi Corridor oasis, northwestern China. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 1, p.117-129, 2010. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/>

[pdf/10.1007%2Fs10457-010-9287-x.pdf](http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10457-010-9287-x.pdf)>. Acesso em: 5 jan. 2014.

SILVA, F. C. da; ABREU, M. F. de; PEREZ, D. V.; EIRA, P. A. da; ABREU, C. A. de; RAIJ, B. Van; GIANELLO, C.; COELHO, A. M.; QUAGGIO, J. A.; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W. de O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. p. 109-189

FUENTES, J. D.; KING, K. M. Leaf photosynthesis and leaf conductance of maize grown hydroponically and in soil under field conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 45, n. 3/4, p.155-166, 1989. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192389900403/pdf?md5=63b2d3a7e49007253b284ab077b909ad&pid=1-s2.0-0168192389900403-main.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2014.

GAO, Y.; DUAN, A.; QIU, X.; LIU, Z.; SUN, J.; JZHANG, J.; WANG, H. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. **Agricultural Water Management**, v. 98, p.199-212, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837741000288X/pdf?md5=e7f50ff219d424f873d9dcc09b84d11a&pid=1-s2.0-S037837741000288X-main.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

GILG, H. A.; GIRARD, J.; SHEPPARD, S. M. Conventional and less conventional techniques for hydrogen and oxygen analysis of clays, associated minerals and pore waters in sediments and soils. In: GROOT, P. A. de (Ed.). **Handbook of Stable Isotopes Analytical Techniques**. Amsterdam: Elsevier, 2004. v. 1. p. 38-61.

JACKSON, P. C.; CAVELIER, J.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; HOLBROOK, N. M. Partitioning of water resources among plants of a lowland tropical forest. **Oecologia**, v.101, n. 2, p.197-203, 1995. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fbfb00317284.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

- KHO, R. M. A general tree-environment-crop interaction equation for predictive understanding of agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 80, n. 1/2, p. 87-100, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880900001365/pdf?md5=9982c6a53d9a2a344c2c0cf3d03cfe59&pid=1-s2.0-S0167880900001365-main.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2014.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006. 531 p.
- LEHMANN, J.; PETER, I.; STEGLICH, C.; GEBAUER, G.; HUWE, B.; ZECH, W. Below-ground interactions in dryland agroforestry. **Forest Ecology and Management**, v.111, n. 1/2, p.157-169, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112798003223/pdf?md5=198c0c2a756367090717b9832308646e&pid=1-s2.0-S0378112798003223-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- LOSE, S. J.; HILGER, T. H.; LEIHNER, D. E.; KROSCHER, J. Cassava, maize and tree root development as affected by various agroforestry and cropping systems in Bénin, West Africa. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.100, n. 1/2, p. 37-151, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880903001828/pdf?md5=90eebe1f364f6b43483faf664ecee622&pid=1-s2.0-S0167880903001828-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- LOTT, J. E.; KHAN, A. A. H.; BLACK, C. R.; ONG, C. K. Water use in a *Grevillea robusta*-maize overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya. **Forest Ecology and Management**, v.180, n. 1/3, p.45-59, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112702006035/pdf?md5=b2eca00a27b75d4c453d7cdb98cf5193&pid=1-s2.0-S0378112702006035-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- MAKUMBA, W.; JANSSEN, B.; OENEMA, O.; AKINNIFESI, F.K.; MWETA, D.; KWESIGA, F. The long-term effects of a gliricidia-maize intercropping system in Southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.116, n. 1/2, p. 85-92, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880906001150/pdf?md5=f4c70603faffbf58fccc38dfb42e85f&pid=1-s2.0-S0167880906001150-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- MENDES, M. M. de S.; LACERDA, C. F. de; CAVALCANTE, A. C. R.; FERNANDES, F. E. P.; OLIVEIRA, T. S. de. Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de pau-branco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 10, p. 1342-1350, out., 2013. Disponível em: <URL: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/97752/1/API-Desenvolvimento-do-milho.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- MESTAS-VALERO, R. M.; MIRÁS-AVALOS, J. M.; VIDAL-VÁZQUEZ, E. Estimation of the daily water consumption by maize under Atlantic climatic conditions (A Coruna, NW Spain) using Frequency Domain Reflectometry - a case study. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.12, n. 6, p. 709-714, 2012.
- MOLUA, E. L. The economics of tropical agroforestry systems: the case of agroforestry farms in Cameroon. **Forest Policy and Economics**, v. 7, n. 2, p.199-211, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934103000327/pdf?md5=fbe50e4776ad59bf89940f8910843eb2&pid=1-s2.0-S1389934103000327-main.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2014.
- MUTHURI, C. W.; ONG, C. K.; BLACK, C. R.; NGUMI, V. W.; MATI, B. M. Tree and crop productivity in *Grevillea*, *Alnus* and *Paulownia*-based agroforestry systems in semi-arid Kenya. **Forest Ecology and Management**, v. 212, n. 1/2, p. 23-39, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112705001623/pdf?md5=9d7c1dfe1b9782c316688b8043f523a9&pid=1-s2.0-S0378112705001623-main.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2014.
- MUTHURI, C. W.; ONG, C. K.; CRAIGON, J.; MATI, B. M.; NGUMI, V. W.; BLACK, C. R. Gas exchange and

water use efficiency of trees and maize in agroforestry systems in semi-arid Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.129, n. 4, p. 497-507, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880908002922/pdf?md5=ffd2083ecfeee2c295cd0ad082c0d7dd&pid=1-s2.0-S0167880908002922-main.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2014.

RADERSMA, S.; ONG, C. K. Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry systems in sub-humid Kenya: implications for agroforestry models. **Forest Ecology and Management**, v.188, n. 1/3, p. 77-89, 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112703003992/pdf?md5=ae23056eaea2d1a7adc020b0f6a66aac&pid=1-s2.0-S0378112703003992-main.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2014.

REYNOLDS, P. E.; SIMPSON, J. A.; THEVATHASAN, N. V.; ANDREW, M. G. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in Southern Ontario, Canada. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 362-371, 2007.

SCHROTH, G.; D'ANGELO, S. A.; TEIXEIRA, W. G.; HAAG, D.; LIEBEREI, R. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for

biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management**, v.163, N. 1/3, p.131-150, 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701005370/pdf?md5=a1b152b6b8ecd749bd474c31ba104081&pid=1-s2.0-S0378112701005370-main.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Massachusetts: Sinauer Associates, 2002.

WALKER, G.; BRUNEL, J. P.; DIGHTON, J.; HOLLAND, K.; LEANEY, F.; MCEWAN, K.; MENSFORTH, L.; THORBURN, P.; WALKER, C. The use of stable isotopes of water for determining sources of water for plant transpiration. In: UNKOVICH, M.; PATE, J.; MCNEILL, A.; GIBBS, D. J. (Eds.). **Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 57-89.

ZHANG, C.; ZHANG, J.; ZHAO, B.; ZHU, A.; ZHANG, H.; HUANG, P.; LI, X. Coupling a two-tip linear mixing model with a δD - $\delta^{18}O$ plot to determine water sources consumed by maize during different growth stages. **Field Crops Research**, v. 123, n. 3, p.196-205, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842901100181X/pdf?md5=5a1fff8a1b1afde942e50c1f71dd87bd&pid=1-s2.0-S037842901100181X-main.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

Comunicado Técnico, 138 On line



Embrapa Caprinos e Ovinos
Endereço: Estrada Sobral/Groaíras, Km 04 - Caixa Postal 145 - CEP: 62010-970 - Sobral-CE
Fone: (0xx88) 3112-7400
Fax: (0xx88) 3112-7455
Home page: www.cnpq.embrapa.br
SAC: <http://www.cnpq.embrapa.br/sac.htm>

1ª edição
On-line (Jun./2014)
Cadastro Geral de Publicações da
Embrapa - CGPE
Nº 11387

Comitê de publicações

Presidente: Francisco Selmo Fernandes Alves
Secretária-Executiva: Juliana Evangelista da Silva Rocha. **Membros:** Alexandre César Silva Marinho, Alexandre Weick Uchoa Monteiro, Carlos José Mendes Vasconcelos, Maira Vergne Dias, Manoel Everardo Pereira Mendes, Tânia Maria Chaves Campelo, Diones Oliveira Santos, Viviane de Souza (Suplente).

Expediente

Supervisão editorial: Alexandre César Silva Marinho. **Revisão de texto:** Carlos José Mendes Vasconcelos. **Normalização bibliográfica:** Tânia Maria Chaves Campelo. **Editoração eletrônica:** Comitê de Publicações.